

$$P = 2 \cdot (S_{3.6} + \frac{L \cdot E \cdot F}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot \frac{\sin \alpha + k \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha - k \cdot \sin \alpha} \quad (11)$$

Выводы:

С целью проверки достоверности результатов аналитического исследования по определению величины угла наклона матрицедержателя и его влияния на устойчивость технологических параметров СПШ для гибки, были проведены экспериментальные исследования с применением методов моделирования и тензометрирования, с последующей проверкой полученных результатов методом фотоупругости.

При этом установлено:

- уменьшение величины отклонения полуматриц от исходного положения при приложении горизонтальной составляющей усилия штамповки происходит при увеличении угла наклона на 6° , который и реализуется как рациональный при разработке конструкции;
- применение угла наклона сопрягаемых поверхностей матрицедержателя свыше 6° нецелесообразно, так как, практически, не влияет на сдвиг полуматриц в процессе штамповки;
- достижение устойчивости технологических параметров специализированных переналаживаемых штампов для гибки деталей обеспечивается использованием технического решения, при котором сопрягаемые поверхности матрицедержателя и раздвижных полуматриц выполнены наклонными с направлением наклона к поперечной оси штампа;
- оптимальным углом наклона, сопрягаемых поверхностей является угол $\alpha = 5^\circ 54'$.

Список литературы: 1. Мовшович А.Я., Кочергин Ю.А., Буденный М.М.. К вопросу влияния конструктивно-технологических факторов на усилие штамповки при П-образной гибке. – Высокие технологии в машиностроении: НТУ "ХПИ", – Харьков, 2009. – вып.2 (19). – с. 109-116. 2. Мовшович А.Я. Система универсально-сборных штампов для листовой штамповки. – М.:Машиностроение, 1977. – 177 с.

УДК 621.98

БАЛАЛАЕВА Е.Ю., асп., асс., ПГТУ, г. Мариуполь

КУХАРЬ В.В., канд. техн. наук, НМетАУ, ПГТУ, г. Мариуполь

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА КОЛЬЦЕВЫХ УПРУГИХ КОМПЕНСАТОРОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ СИСТЕМЫ «ПРЕСС-ШТАМП»

Рассмотрена работа кольцевых упругих компенсаторов погрешностей системы «пресс-штамп». Разработана методика расчета компенсаторов, включающая расчет усилия сжатия при технологических операциях, вычисление коэффициента формы и определение геометрических параметров кольцевого компенсатора, расчет его формоизменения при сжатии и определение участков склеивания с защитными пластинами.

Ключевые слова: Компенсатор, система «пресс-штамп», осадка, перекоп ползуна, неравномерная деформация

Розглянута робота кільцевих пружних компенсаторів похибок системи «прес-штамп». Розроблена методика розрахунку компенсаторів, яка включає розрахунок зусилля стискання при технологічних операціях, розрахунок коефіцієнта форми та визначення геометричних параметрів

кільцевого компенсатора, розрахунок його формозміни при стиканні та визначення ділянок склеювання з захисними пластинами.

Ключові слова: Компенсатор, система «прес-штамп», осаджування, перекося повзуна, нерівномірна деформація

The work of the ring elastic compensators of errors of the press-die system is considered. The method of the calculation of the compensators, which includes the of the pressing force during technological operations, the calculation of the form coefficient and determination of the geometric parameters of the ring compensator, the calculation of the forming during the pressing and the determination of the agglutination zones with protective plates, is developed.

Key words: Compensator, press-die system, upsetting, misalignments of slider, irregular deformation

1. Введение

Физически устаревшее оборудование и технологические нагрузки обуславливают появление погрешностей направления ползунов и, как следствие, несоосности системы «пресс-штамп» [1], что снижает качество отштампованных изделий и точность реза на разделительных операциях. Повышение износа рабочего инструмента и направляющих прессы и штампа приводит к частым поломкам, требующим дорогостоящего ремонта, и сопровождается простоями производства.

2. Постановка проблемы, анализ последних исследований и публикаций

Перекося в системе «пресс-штамп» уменьшают путем внедрения дополнительных конструктивных компенсирующих элементов, которые располагают между опорными поверхностями ползуна и верхней плиты штампа. Широкое распространение получили упругие компенсаторы, рассчитанные как на определённые технологические усилия [2-4], так и универсальные [5]. Основой таких компенсаторов чаще всего служат пластины из полиуретана, который характеризуется сохранением стабильных характеристик жесткости на протяжении нескольких миллионов циклов нагружения, а так же элементы крепежа штампа к ползуну прессы.

Известен способ крепления верхней плиты к ползуну прессы через упругий компенсатор [6]. Однако существует угроза растрескивания упругой пластины, т. к. под воздействием усилия деформирования, материал может затекать в нетехнологические отверстия, образуя области повышенной концентрации напряжений и нерегламентированных деформаций.

Для решения данной проблемы разработан и опробован вариант крепления верхней плиты к ползуну прессы [7], согласно которому кольцевой упругий компенсатор размещают между двумя шлифованными металлическими пластинами с центральным отверстием при помощи клеевого соединения. Недостатком данного способа является отсутствие оптимальных режимов склеивания, которые необходимо определять исходя из конструктивно-технологических особенностей кольцевого компенсатора и физико-механических характеристик клея. Данная проблема решена путем разработки способа крепления верхней плиты к ползуну прессы [8], согласно которому участки склеивания определяют для каждого отдельного компенсатора и клеевого соединения.

Однако влияние геометрических параметров кольцевых упругих компенсаторов на работу системы «пресс-штамп» при выполнении различных технологических операций изучено недостаточно.

3. Цель работы. Целью данной работы является разработка автоматизированной методики расчета кольцевых упругих компенсаторов погрешностей системы «пресс-штамп».

4. Изложение основного материала

В промышленных и лабораторных условиях использовали полиуретановые пластины марки СКУ-ПФЛ-100. Предварительно были проведены испытания образцов из полиуретана различной формы на сжатие. При обработке опытных данных значение давления сжатия q вычисляли как:

$$q = P / F_{\text{опорн}}, \quad (1)$$

где P – сила деформирования, $F_{\text{опорн}}$ – площадь опорной поверхности компенсатора.

В результате была получена аппроксимирующая зависимость давления сжатия полиуретана q от степени осадки ε [9], при этом степень сжатия не должна превышать 0,2–0,3:

$$q = 52\varepsilon + 1,92. \quad (2)$$

Также исследовали работу двухслойных полиуретановых компенсаторов проводили с применением метода планирования эксперимента. Устанавливали зависимость величины усилия сжатия P от двух факторов: коэффициента формы Φ (фактор x_1), который рассчитывается как:

$$\Phi = F_{\text{бок}} / F_{\text{опорн}}, \quad (3)$$

где $F_{\text{бок}}$ – площадь боковой поверхности компенсатора,

а также степени осадки упругого элемента ε (фактор x_2), которая определяется по формуле:

$$\varepsilon = (H_0 - h) / H_0, \quad (4)$$

где H_0 – начальная высота упругого компенсирующего элемента, h – упругого компенсирующего элемента после осадки.

Рассматривали линейную регрессионную зависимость с учетом парных взаимодействий, которая имеет вид:

$$y = a'_0 + a'_1 x_1 + a'_2 x_2 + a'_3 x_1 x_2, \quad (5)$$

где a'_0, a'_1, a'_2, a'_3 – коэффициенты уравнения в натуральном масштабе.

В качестве плана вычислительного эксперимента использовали двухуровневый полнофакторный эксперимент (ПФЭ) 2^2 .

На основе разработанной математической модели и программного обеспечения были получены следующие математические зависимости усилия сжатия от коэффициента формы и степени осадки:

- линейная зависимость $P(\Phi, \varepsilon)$ без использования смазки:

$$P = 0,001436 - 0,164223 \cdot \Phi - 0,289477 \cdot \varepsilon + 25,110390 \cdot \Phi \cdot \varepsilon, \quad (6)$$

- линейная зависимость $P(\Phi, \varepsilon)$ с использованием смазки:

$$P = -0,000434 - 0,000613 \cdot \Phi - 0,086781 \cdot \varepsilon + 0,128789 \cdot \Phi \cdot \varepsilon. \quad (7)$$

Адекватность модели проверяли по критерию Фишера [10], при этом гипотеза об адекватности была принята с 95 %-ной достоверностью.

Рассматривали кольцевой полиуретановый компенсатор (рис. 1) наружным радиусом R , внутренним радиусом R_n и высотой H_0 . При этом в конструкцию были

введены следующие ограничения: внешний радиус должен быть меньше длина и ширины штамповой плиты ($R < A$ и $R < B$ соответственно), внутренний радиус – больше радиуса хвостовика для листоштамповочных прессов ($R_n > d_{\text{хв}}/2$), а высота компенсатора не должна превышать 1/3 штампового пространства ($H_0 \leq H_{\text{пр}}/3$).

Опорную площадь компенсатора определяли как $F_{\text{опорн}} = \pi \cdot [R^2 - R_n^2]$.

Перекося ползуна на угол φ обуславливает неравномерность деформации кольцевого компенсатора по высоте. Причем максимальный угол отклонения не должен превышать $\varphi \leq \arctg(H_0/2R)$.

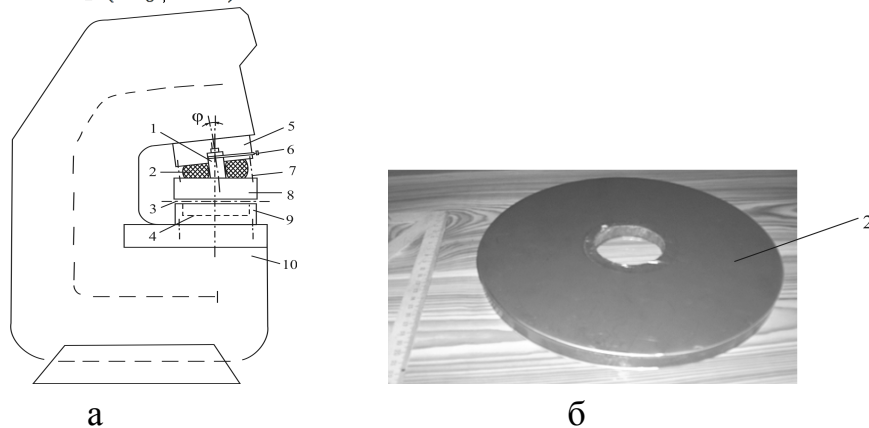


Рис. 1. Схема крепления верхней плиты штампа к ползуну пресса (а) и фотография кольцевого упругого компенсатора с защитными пластинами (б): 1- хвостовик; 2 – компенсатор; 3 – линия разреза штампа; 4 – контур штампуемого изделия; 5 – ползун; 6 – фиксирующая шпилька; 7 – крепежные элементы; 8 – верхняя плита; 9 – нижняя плита; 10 – станина

Исходя из введенных ограничений, внешний радиус кольцевого упругого компенсатора определяли как $R = 0,9 \cdot C_{\text{AB}}/2$, где $C_{\text{AB}} = \min(A, B)$, а внутренний – $R_n = 1,1 \cdot d_{\text{хв}}/2$.

Деформация полиуретанового кольца, показанная на рис. 2, предполагает наличие нейтральной линии течения материала, т.е. линии раздела между перемещениями полиуретана внутрь и наружу кольца. Границей течения материала является поверхность, определяемая радиусом R_k , в точках которого контактное касательное напряжение τ равно нулю. Увеличение внешнего радиуса ΔR и уменьшение внутреннего радиуса ΔR_n определяют по аналогии течения деформируемой кольцевой металлической заготовки в трех характерных точках (показаны на рис. 2 б индексами 1, 2 и 3 при обозначениях) согласно рекомендациям источника [11]. Однако в рассматриваемом случае учитывается неравномерность деформации, обусловленная перекося ползуна на угол φ при определенном технологическом усилии сжатия P . Величина угла перекося определяется как:

$$\varphi = \arctg(\Delta_{\text{комп}}/2R), \Delta_{\text{комп}} = 2,5 \cdot \Delta_{\text{пресс}}, \Delta_{\text{пресс}} = P/C \quad (8)$$

где $\Delta_{\text{комп}}$ – максимальный перекося компенсатора; $\Delta_{\text{пресс}}$ – максимальный перекося пресса; C – жесткость пресса открытого типа ($C = [300 \dots 1200]$).

Давление сжатия p при осадке кольцевого полиуретанового компенсатора распределяется по его диаметру неравномерно, поэтому использование формулы источника [11] требует локального подхода с учетом неравномерности деформации упругого элемента по высоте.

Расчет изменения размеров компенсатора производился как без учета бочкообразности по формулам, изложенным в источниках [11,12], так и с учетом неравномерности радиальной деформации по высоте, при этом потребовалось уточнение вывода зависимости для R_k [11]:

$$R_k = 63,25 \sqrt{(R^2 R_n^2 (R^2 - R_n^2)) / (8000 R^2 R_n^2 \ln(R/R_n) + 1599 h^2 (R^2 - R_n^2))}. (9)$$

Касательное напряжение в клеевом слое соединения полиуретанового кольца с металлическими защитными пластинами рассчитывают согласно рекомендациям источника [13].

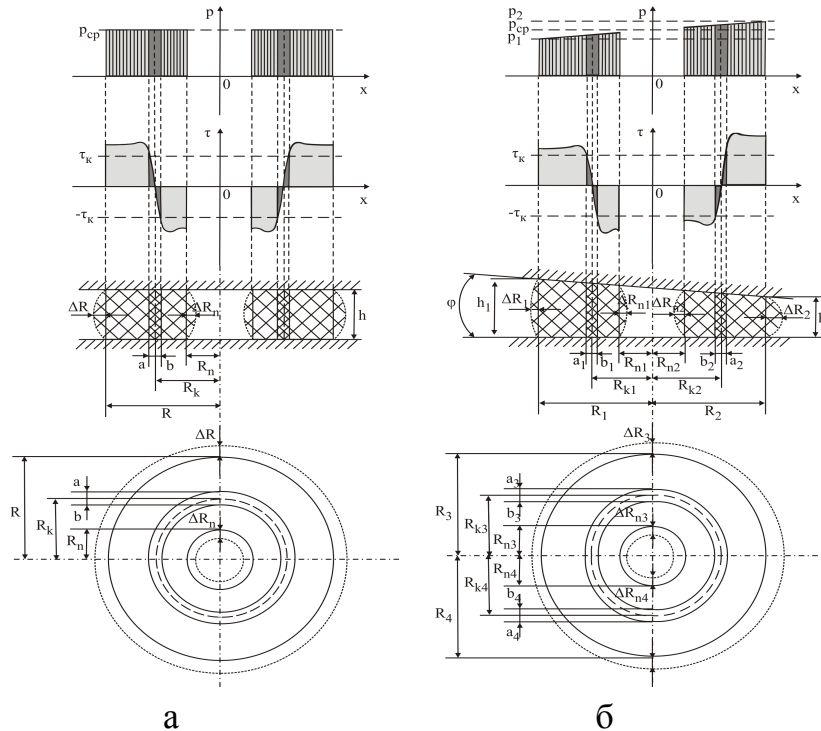


Рис. 2. Деформация кольцевого упругого компенсатора без учета (а) и с учетом (б) неравномерности деформации по высоте

Для достижения оптимальных характеристик склеивания клей (diagum FL, diagum P, diaflex) наносили только на участки, ограниченные зоной действия рабочих касательных напряжений τ , не превышающих предельных величин τ_k . Согласно предложенной методике построен ряд эпюр касательных напряжений в зависимости от геометрических параметров компенсатора и определены зоны, для которых $\tau < \tau_k$.

Для определения участков нанесения клеевого слоя совмещали вычислительный эксперимент с методикой планирования эксперимента. Устанавливали зависимость расстояний a и b (измерение производилось от линии раздела течения R_k до внешнего и внутреннего краев компенсатора соответственно) от трех факторов: отношения толщины стенки компенсатора к его внешнему диаметру S/D (фактор x_1), отношения толщины стенки компенсатора к его начальной высоте S/H_0 (фактор x_2) и степени деформации упругого кольца ε (фактор x_3).

Рассматривали линейную регрессионную модель с учетом парных взаимодействий. В качестве плана вычислительного эксперимента использовали двухуровневый ПФЭ 2^3 , в соответствии с которым проводили вычислительный эксперимент по

формулам источника [13], а полученные результаты использовали для вывода регрессионной зависимости вида:

$$y = a'_0 + a'_1 x_1 + a'_2 x_2 + a'_3 x_3 + a'_4 x_1 x_2 + a'_5 x_2 x_3 + a'_6 x_1 x_3 + a'_7 x_1 x_2, \quad (10)$$

где a'_i - коэффициенты уравнения в натуральном масштабе.

В результате была получена зависимость для определения расстояний a и b от линии раздела течения R_k до внешнего и внутреннего краев компенсатора соответственно, на которые следует наносить клей для обеспечения условия $\tau < \tau_k$:

$$a = 10,283 + 0,034 S/D + 0,46 S/H_0 - 1,109 \varepsilon + 0,135 S/D \cdot S/H_0 - 0,073 S/H_0 \cdot \varepsilon - 0,034 S/D \cdot \varepsilon - 0,015 S/D \cdot S/H_0 \cdot \varepsilon; \quad b = 0,929a. \quad (11)$$

В соответствии с критерием Фишера [10], гипотеза об адекватности была принята с 95 %-ным уровнем достоверности.

В работе рассматривали использование кольцевого упругого компенсатора при прессовании с прямым истечением сплошного профиля из круглой заготовки через одноканальную матрицу (рис. 3).

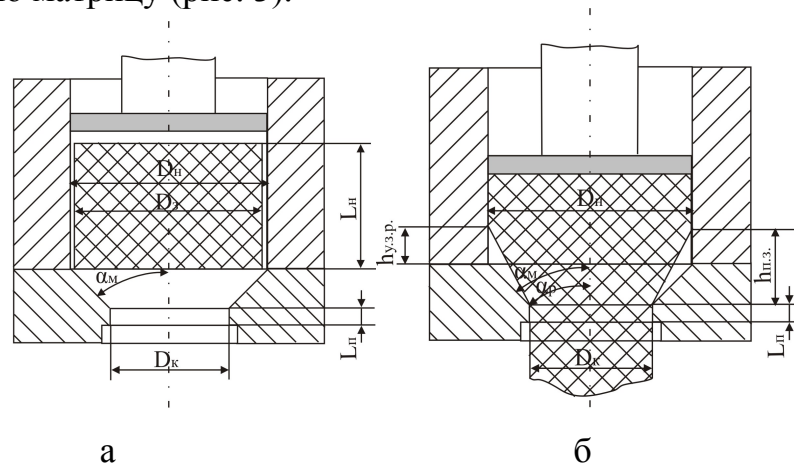


Рис. 3. Прессование с прямым истечением сплошного профиля из круглой заготовки через одноканальную матрицу на стадии распрессовки (а) и на стадии начала истечения металла (б)

В зависимости от действительного угла канала α_m расчетный угол α_p и расчетная высота $h_{y.z.p.}$ определяли по формулам:

$$\begin{cases} \alpha_p = \alpha_m, & h_{y.z.p.} = 0 & \text{если } \alpha_m \leq 60^\circ \\ \alpha_p = 60^\circ, & h_{y.z.p.} = (D_n - D_k) \cdot (0,58 - \text{ctg} \alpha_m) / 2 & \text{если } \alpha_m > 60^\circ \end{cases}, \quad (12)$$

где D_n , D_k – внутренний и внешний диаметры контейнера.

Объем цилиндрической заготовки вычисляли следующим образом:

$$V_3 = L_n \cdot \pi D_3^2 / 4, \quad D_3 = 0,97 \cdot D_n, \quad (13)$$

где L_n – высота контейнера, D_3 – диаметр заготовки.

На стадии распрессовки текущий диаметр заготовки определяли как:

$$D_x = 1,13 \cdot \sqrt{V_3 / L_x}, \quad (14)$$

где L_x – текущая высота заготовки.

Конечная высота заготовки на данном этапе рассчитывали как:

$$L_{OA} = V_3 / (\pi D_n^2 / 4). \quad (15)$$

Усилие прессование на первом этапе вычисляли по формуле:

$$P_{OA} = 20 \cdot \sigma_s \cdot \left[1 + 0,09 \cdot (D_x / L_x) \cdot \sqrt{\mu \cdot D_x / L_x} \right] \cdot \pi D_x^2 / 4, \quad (16)$$

где σ_s – упрочнение материала заготовки; μ – коэффициент трения.

В соответствии с источником [14] усилие прессование на стадии истечения металла определяли следующим образом:

$$\left[\frac{2 \sin(\alpha_p)}{\cos(\alpha_p/2)} \right] + \lambda \pi D_k f_{k.п.} K_{м.к.} L_{п.} \cdot 10^{-6}, \quad (17)$$

где $f_{к.р.} = f_{к.м.} = f_{к.п.} = f = 1$ – показатель трения металла;
 $K_{к.р.} = K_{м.б.} = K_{м.к.} = K = \sigma_s / (3\sqrt{3})$ – напряжение пластического сдвига металла;
 $i = D_H^2 / D_K^2$ – интегральная деформация; $\lambda = 1 / [1 - ((D_H^2 - D_K^2) / D_H^2)]$ – коэффициент вытяжки.

Согласно источнику [15] усилие прессование рассчитывали как:

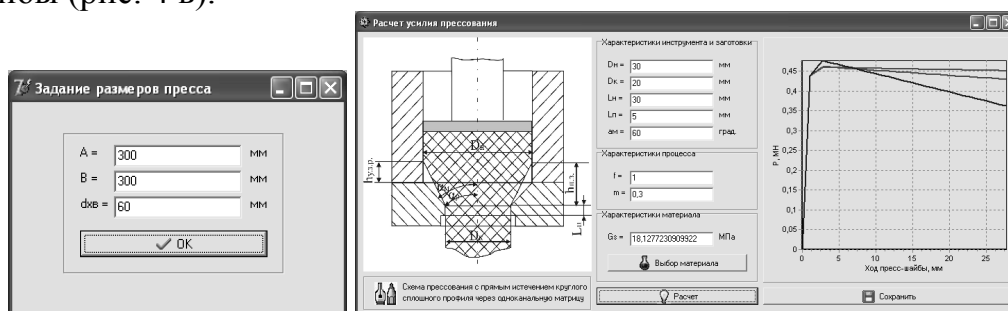
$$P = \sigma_s \left[\left(\frac{\mu + 0,5}{2 \sin(\alpha_m)} + \frac{2}{1 + \cos(\alpha_m)} \right) \ln \left(\frac{D_H^2}{D_K^2} \right) + \frac{2L_x}{D_K} + \frac{4\mu L_{п.}}{D_H} \right] \frac{\pi D_K^2}{4} \cdot 10^{-6}. \quad (18)$$

В соответствии с источником [16] усилие определяли как:

$$P = \sigma_s (1 + f \cdot \operatorname{tg}(\alpha_m)) \left[1 + \operatorname{tg}(\alpha_m) + f + f \left(\frac{L_{п.}}{D_K} + \frac{L_x}{D_H} \right) \right] \ln \left(\frac{D_H^2}{D_K^2} \right) \frac{\pi D_H^2}{4} \cdot 10 \cdot 10^{-6}. \quad (19)$$

На основе разработанной математической модели написано программное обеспечение в среде Borland Delphi 7, интерфейс которого показан на рис. 4, для расчета кольцевых упругих компенсаторов погрешности системы «пресс-штамп».

Проведено моделирование работы компенсатора погрешностей направления ползуна кривошипного пресса, параметры которого заданы следующим образом (рис. 4 а): размеры штамповой плиты $A = 300$ мм и $B = 300$ мм, диаметр хвостовика $d_{хв} = 60$ мм. Моделировали процесс прессования с прямым истечением сплошного профиля из круглой заготовки через одноканальную матрицу (рис. 4 б), причем внутренний диаметр, внешний диаметр и высота контейнера соответственно равны мм, $D_K = 20$ мм и $L_H = 30$ мм; высота пояска матрицы $L_{п.} = 5$ мм; угол канала матрицы $\alpha_m = 60^\circ$. Показатель и коэффициент трения соответственно равны $f = 1$ и $\mu = 0,3$. Материалом заготовки выбран свинец, при этом упрочнение материала заготовки $\sigma_s \approx 18,128$ МПа. Построены график зависимости усилия прессования P от хода пресс-шайбы (рис. 4 б) и график зависимости коэффициента формы от Φ от хода пресс-шайбы (рис. 4 в).



а

б

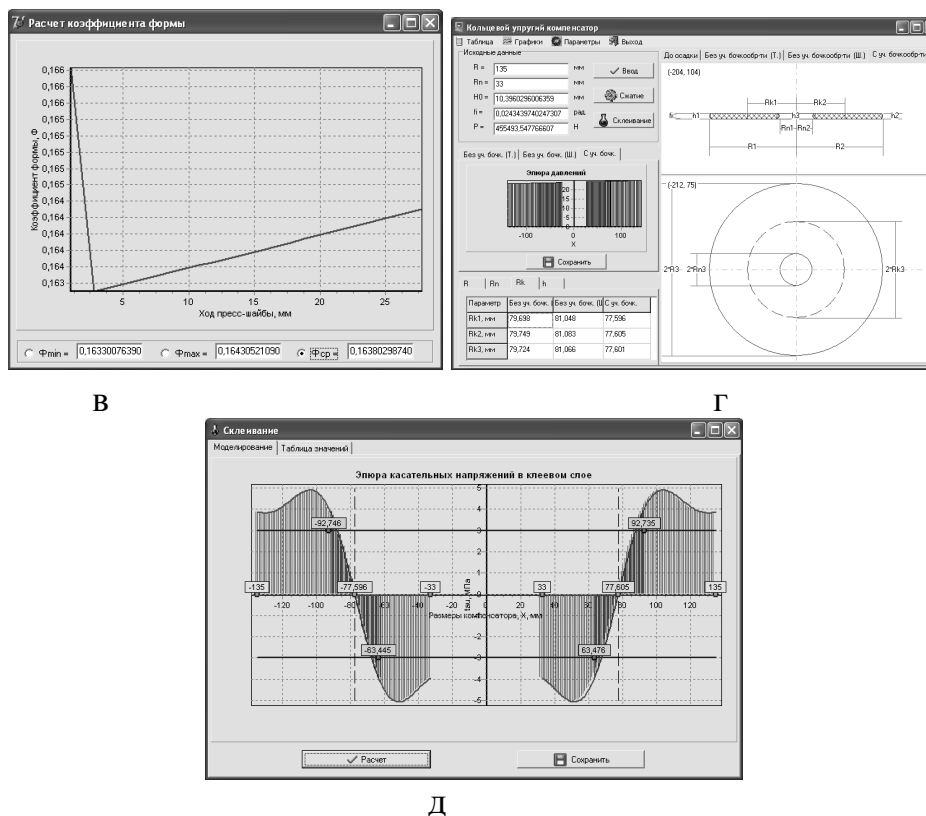


Рис. 4. Интерфейс программы: задание размеров пресса (а), расчет усилия прессования (б), расчет коэффициента формы (в), моделирование работы кольцевого компенсатора (г) и эпюра напряжений в клеевом слое (д)

На основе полученных данных рассчитаны начальные размеры кольцевого упругого компенсатора (рис. 4 г): внешний радиус $R = 135$ мм, внутренний радиус $R_n = 33$ мм, $H_0 \approx 10,4$ мм, угол перекоса ползуна $\varphi \approx 0,02$ рад. Согласно полученным результатам после моделирования осадки кольцевого компенсатора, клей целесообразно наносить на участки поверхности компенсатора (рис. 4 д), ограниченные расстояниями $a_1 = 15,15$ мм и $a_2 = 15,13$ мм до внешнего края и $b_1 = 14,15$ мм и $b_2 = 14,13$ мм до внутреннего края от нейтральной линии, причем $R_{k1} = 77,60$ мм и $R_{k2} = 77,61$ мм.

Таким образом, разработана математическая модель и программное обеспечение для расчета параметров работы кольцевых упругих компенсаторов погрешностей системы «пресс-штамп». Разработанная методика включает в себя: 1) расчет усилия сжатия в зависимости от выполняемой технологической операции; 2) вычисление коэффициента формы упругого компенсатора и определение оптимальных геометрических размеров кольцевого компенсатора; 3) расчет формоизменения сжатого упругого компенсатора с учетом перекосов ползуна при технологических нагрузках пресса; 4) определение участков склеивания упругого компенсатора с защитными пластинами. Перспективным направлением является разработка методики расчета универсальных двухслойных компенсаторов погрешностей направления ползуна пресса.

Список литературы: 1. Диамантопуло К.К. Компенсация несоосности системы «пресс-штамп» изношенного штамповочного оборудования / К.К. Диамантопуло, В.В. Кухарь, А.И. Евтеев // Металлургические процессы и оборудование. - Июнь 2005 г. - №2. - С.31–34. 2. Диамантопуло К.К. Компенсатор погрешностей направления ползуна прессов / К.К. Диамантопуло.

ло, В.Е. Гримани // Защита металлургических машин от поломок: Сб. научн. тр. – Вып.3. – Мариуполь, 1998. 3. Компенсатор похибок напряму переміщення повзуна преса [Текст]: пат. 11782 Україна, МПК6 В 21 В 23/00 / Діамантопуло К.К., Кухар В.В., Єрмолов Д.В.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. – № u200505677; заяв. 13.06.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1. – 4с., іл. 4. Компенсатор похибок [Текст]: пат. 837 Україна, МПК6 В 21 В 23/00 / Діамантопуло К.К., Василевський О.В.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. – № 200004673; заяв. 06.12.2000; опубл. 14.11.2001, Бюл. №11 – 2с., іл. 5. Універсальний компенсатор похибок напряму повзуна [Текст]: пат. 38814 Україна, МПК(2006) В 30 В 15/28; В 21 В 23/00 / Кухар В.В., Балалаєва О.Ю., Макєєв В.С.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. – № u20086973; заяв. 20.05.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл. №2. – 4с., іл. 6. Спосіб кріплення верхньої плити штампа до повзуна преса [Текст]: пат. 37242 Україна, МПК(2006) В 30 В 15/28 / Кухар В.В., Діамантопуло К.К., Лаврентік О.О., Балалаєва О.Ю., Макєєв В.С.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. – № u200806345; заяв. 13.05.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22. – 3с. 7. Діамантопуло К.К. Опыт эксплуатации кольцевого компенсатора погрешностей направления ползуна кривошипного преса / К.К. Діамантопуло, В.В.Кухарь, Е.Ю. Балалаєва, А.И. Евтеев // Теория и практика листового проката: Сб. научн. тр. Часть 1. – Липецк: ЛГТУ, 2008. – С.176-182. 7. Спосіб кріплення верхньої плити штампа до повзуна преса [Текст]: висновок про видачу деклараційного патенту на корисну модель № 38322 від 07.09.09 Україна, МПК(2006) В 30 В 15/28 / Кухар В.В., Балалаєва О.Ю., Діамантопуло К.К., Тузенко О.О., Процько Д.М.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. – № u200906825; заяв. 30.06.2009. 8. Балалаєва Е.Ю. Исследование деформации кольцевого упругого компенсатора при работе системы «пресс-штамп» с перекосами ползуна / Е.Ю. Балалаєва, В.В. Кухарь // Обработка материалов давлением: Сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА, 2009. – №1(20). – С.295–300. 9. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учебное пособие для студентов вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1979. – 400 с., ил. 10. Тарновский И.Я. Теория обработки металлов давлением (Вариационные методы расчета усилий и деформаций) / И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев, О.А. Ганаго, В.Л. Колмогоров, В.Н. Трубин, Р.А. Вайсбурд, В.И. Тарновский. – М.: Металлургиздат, 1963. – 672 с. 11. Шофман Л.А. Основы расчета процессов штамповки и прессования / Л.А. Шофман. – М.: Машгиз, 1961. – 340 с. 12. Кушнарєнко С.Г. Исследование напряжений в клеевом слое клееклєпаннєх соединений / С.Г. Кушнарєнко, В.А. Матвиєнко, А.И. Зирка, Е.И. Поздняков // Обработка материалов давлением в машиностроении. - Вып.17. – Харьков: Вища школа, 1979. – С.55-58. 13. Данченко В.Н. Производство профилей из алюминиевых сплавов. Теория и технология / В.Н. Данченко, А.А. Миленин, А.Н. Головка. – Днепропетровск: «Системные технологии», 2002. – 448 с. 14. Каргин Б.С. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Теория кузнєчно-штамповочного производства» / Б.С. Каргин, П.П. Омєльченко. – Мариуполь: ПГТУ, 2003. – 48 с. 15. Еднерал П.П. Теория пластической деформации и обработка металлов давлением / П.П. Еднерал, И.Г. Константинов. – М.: Машгиз, 1960. – 334 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.7

МИХАЛЕВИЧ В. М., докт. техн. наук, проф., ВНТУ, м. Вінниця
КРАЄВСЬКИЙ В. О., канд. техн. наук, доц., ВНТУ, м. Вінниця
ДОБРАНЮК Ю. В., аспірант, ВНТУ, м. Вінниця